

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 添-2-016 改2
提出年月日	2020年4月30日

#### V-2-2-4 原子炉本体の基礎の地震応答計算書

K7 ① V-2-2-4 R0

2020年4月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造概要	2
2.2 解析方針	4
2.3 適用規格・基準等	5
3. 解析方法	6
3.1 入力地震動	6
3.2 地震応答解析モデル	8
3.2.1 水平方向	8
3.2.2 鉛直方向	9
3.3 解析方法	22
3.3.1 動的解析	22
3.3.2 静的解析	22
3.4 解析条件	25
3.4.1 耐震壁の復元力特性	25
3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性	25
3.4.3 原子炉本体基礎の復元力特性	25
3.4.4 誘発上下動を考慮する場合の基礎浮上り評価法	31
3.4.5 材料物性の不確かさ等	31
4. 解析結果	33
4.1 固有値解析	33
4.2 地震応答解析及び静的解析	33
5. 設計用地震力	358
5.1 弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的震度	358
5.2 基準地震動 $S_s$	358

K7 ① V-2-2-4 R0

図4-1～298, 表4-1～34について,  
初回提出時より変更がないため, 今回  
提出では省略。

## 1. 概要

本資料は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づく原子炉压力容器，原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等（以下「大型機器系」と総称する。）の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値及び静的地震力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。

## 2. 基本方針

### 2.1 構造概要

原子炉圧力容器は、鋼製の円筒形容器であり、T.M.S.L. 18.440m で、原子炉圧力容器スタビライザにより水平方向に支持され、その下部は原子炉圧力容器スカートを介して T.M.S.L. 8.200m で原子炉本体基礎により支持されている。また、燃料取替用ベローズにより原子炉格納容器と連結されている。

原子炉遮蔽壁は、原子炉圧力容器を取り囲む二重円筒鋼板の壁であり、二重円筒形の内部にモルタルが充てんされる。また、原子炉圧力容器スタビライザを介して原子炉圧力容器に水平方向地震力を伝達する。

原子炉本体基礎は、円筒形の鋼製（無筋コンクリート充てん）構造物で、原子炉圧力容器基礎ボルトにより原子炉圧力容器スカートを介して、原子炉圧力容器を支持するとともに原子炉遮蔽壁を支持しており、原子炉本体基礎の下端は原子炉建屋基礎スラブに支持される。また、原子炉本体基礎の上端はダイヤフラムフロアにより原子炉格納容器を介し、水平方向に原子炉建屋に支持される。

これらの構造概要を図 2-1 に示す。

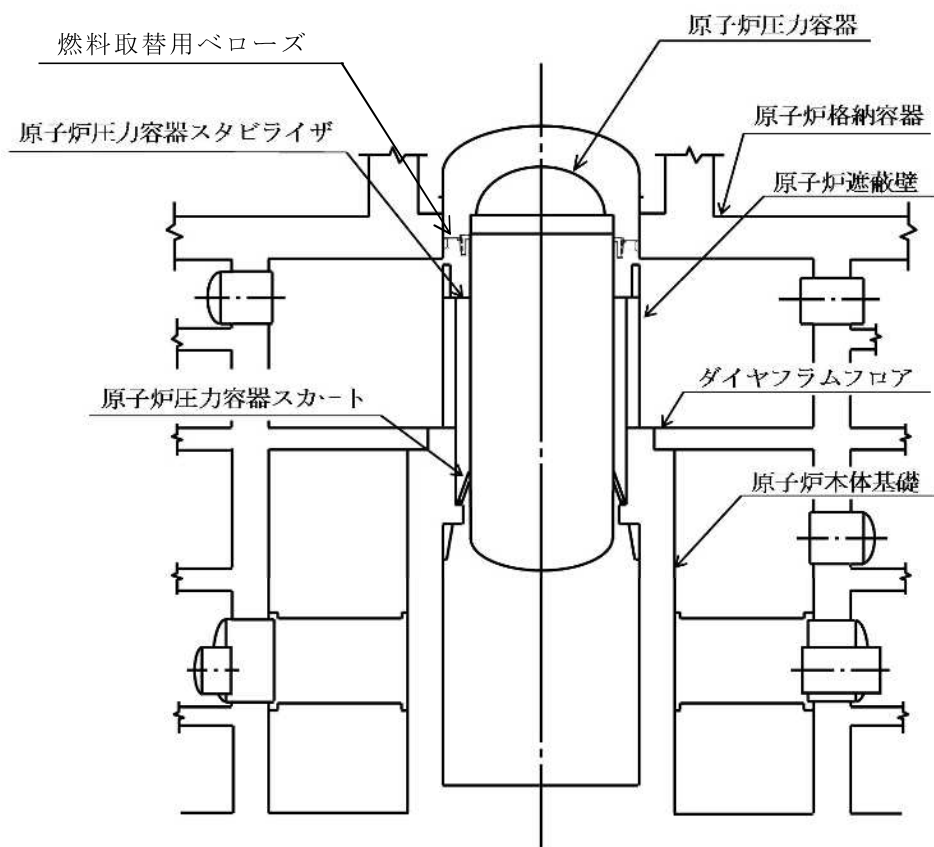


図 2-1 原子炉压力容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎等の概要図

## 2.2 解析方針

大型機器系の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

地震応答解析は、「3.1 入力地震動」において設定した入力地震動及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて、「3.3 解析方法」及び「3.4 解析条件」に基づき、直接積分法による解析を実施し、各種応答値を算出する。

### 2.3 適用規格・基準等

大型機器系の地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)

### 3. 解析方法

#### 3.1 入力地震動

大型機器系の地震応答解析モデルへの入力地震動は、V-2-1-2「基準地震動 S<sub>s</sub> 及び弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> の策定概要」に示す解放基盤表面で定義された基準地震動 S<sub>s</sub> 及び弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> を用いて、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」にて埋込み部分の各床スラブレベル及び建屋基礎底面レベルでの地盤の応答として評価されたものを使用する。基準地震動 S<sub>s</sub> 及び弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> の最大加速度を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1 基準地震動 S<sub>s</sub>

基準地震動 S <sub>s</sub>				最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
				NS 方向	EW 方向	鉛直 方向
S <sub>s</sub> -1	F-B 断層による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価		1050		650
S <sub>s</sub> -2		断層モデルを用いた手法による地震動評価		848	1209	466
S <sub>s</sub> -3	長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価	応力降下量及び断層傾斜角の不確かさをそれぞれ考慮したケースを包絡	600		400
S <sub>s</sub> -4		断層モデルを用いた手法による地震動評価	応力降下量の不確かさ考慮	428	826	332
S <sub>s</sub> -5			断層傾斜角の不確かさ考慮	426	664	346
S <sub>s</sub> -6	長岡平野西縁断層帯～山本山断層～十日町断層帯西部の連動を考慮した地震	断層モデルを用いた手法による地震動評価	応力降下量の不確かさ考慮	434	864	361
S <sub>s</sub> -7			断層傾斜角の不確かさ考慮	389	780	349
S <sub>s</sub> -8	震源を特定せず策定する地震動	2004 年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動評価		650		330



表 3-2 弹性設計用地震動 S d

弹性設計用地震動 S d	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向
Sd-1	525		325
Sd-2	424	604	233
Sd-3	300		200
Sd-4	214	413	166
Sd-5	213	332	173
Sd-6	217	432	180
Sd-7	194	390	175
Sd-8	325		165

### 3.2 地震応答解析モデル

大型機器系の地震応答解析モデルは、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。

#### 3.2.1 水平方向

水平方向地震応答解析モデルは図 3-1 及び図 3-2 に示すように、原子炉建屋、原子炉格納容器、原子炉压力容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎の各質点間を等価な曲げ、せん断剛性を有する無質量のはり又は無質量のばねにより結合する。

原子炉建屋は 10 質点、原子炉格納容器は 6 質点、原子炉压力容器は 11 質点、原子炉遮蔽壁は 5 質点、原子炉本体基礎は 8 質点でモデル化する。

原子炉压力容器は、原子炉压力容器スタビライザの剛性と等価なばねで原子炉遮蔽壁の T.M.S.L.18.440m と、燃料取替用ベローズの剛性と等価なばねで原子炉格納容器の T.M.S.L.23.500m と結合される。

原子炉压力容器スカートの下端は、原子炉本体基礎の T.M.S.L.8.200m の位置と剛に結合される。

原子炉本体基礎は、その下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され、更に T.M.S.L.12.300m において、ダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介し、原子炉建屋に支持される。

図 3-1 及び図 3-2 に示した水平方向地震応答解析モデルの各質点質量、部材長、断面二次モーメント、有効せん断面積等を表 3-3～表 3-8 に、ばね定数等を表 3-9 に示す。また、解析に用いる各構造物の物性値を表 3-10 及び表 3-11 に示す。なお、原子炉建屋のスケルトン曲線及び地盤ばね定数については、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の値を使用する。

図 3-3 及び図 3-4 に示す誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルについては、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社)日本電気協会)」を参考に、水平加振により励起される上下応答を評価するために、鉛直方向モデルの諸元及び接地率に応じて変化する回転・鉛直連成ばねについても考慮している。

原子炉本体基礎の復元力特性は、建屋の方向別に、原子炉本体基礎の要素を単位とした水平断面形状より設定する。

### 3.2.2 鉛直方向

鉛直方向地震応答解析モデルは、原子炉遮蔽壁や原子炉本体基礎等も含めてモデル化されている。V-2-3-1「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」に示す解析モデルを用いる。鉛直方向地震応答解析モデルを図3-5に示す。

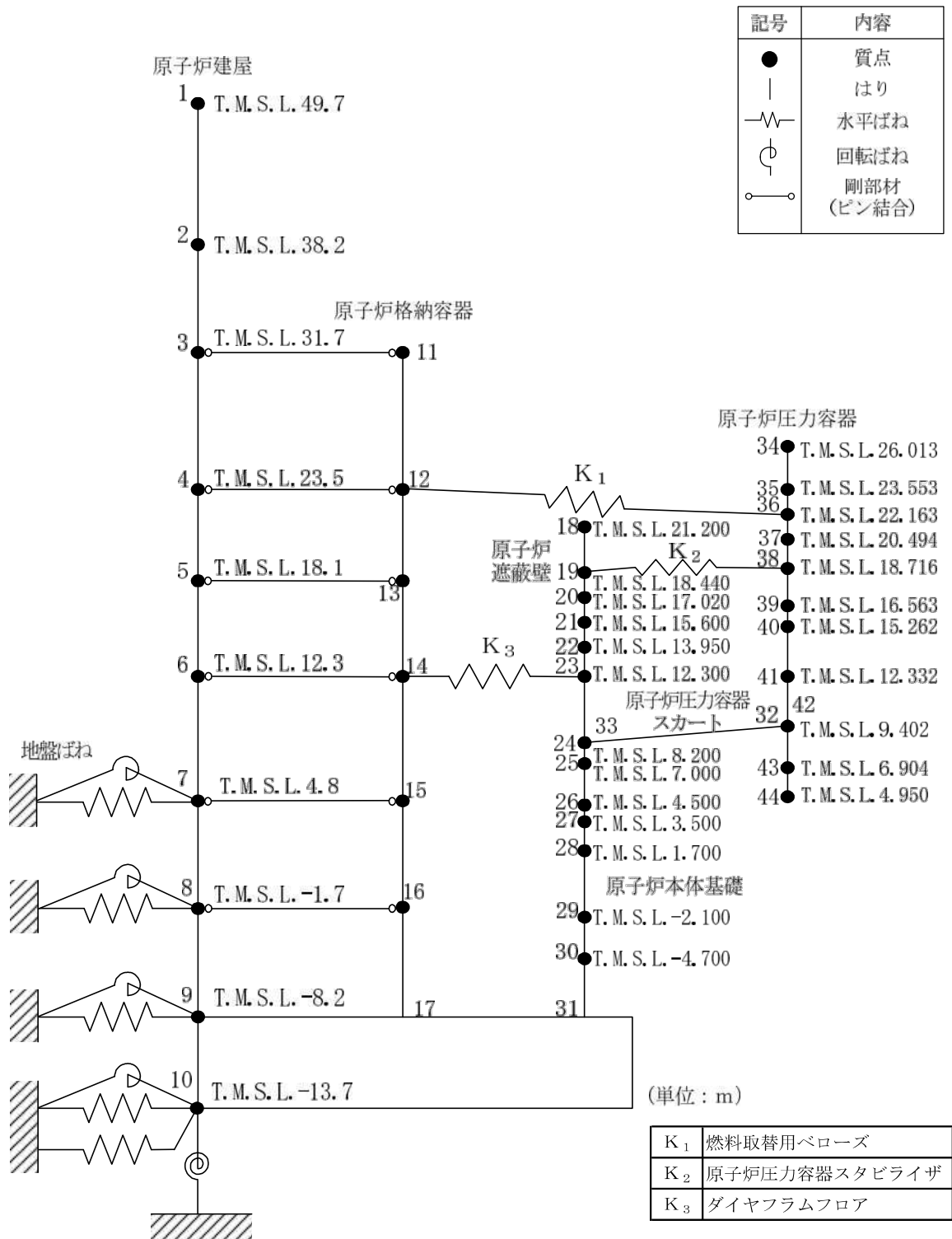


図 3-1 原子炉压力容器，原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎地震応答解析モデル  
(NS 方向 誘発上下動を考慮しない場合)

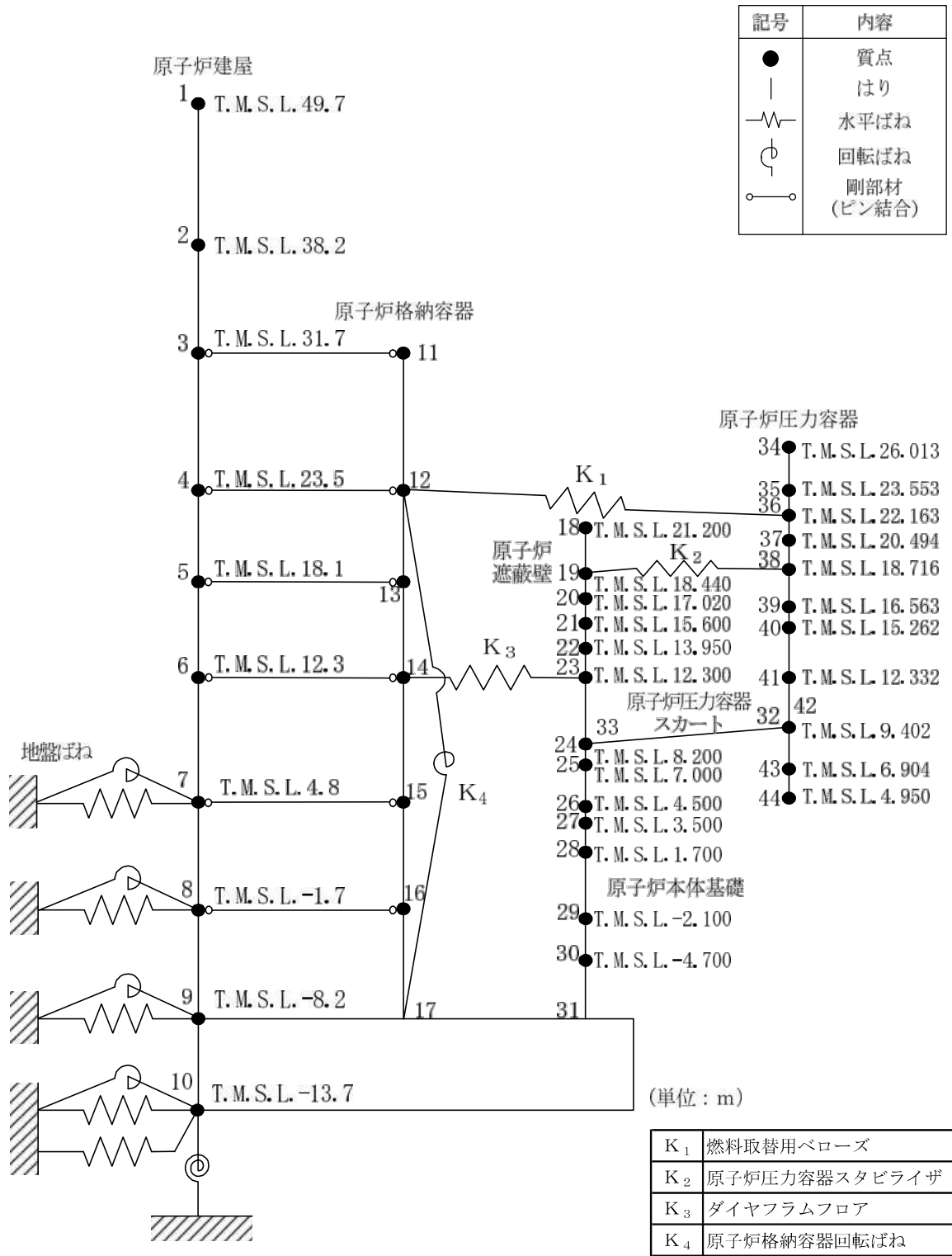


図3-2 原子炉圧力容器，原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎地震応答解析モデル  
(EW方向 誘発上下動を考慮しない場合)

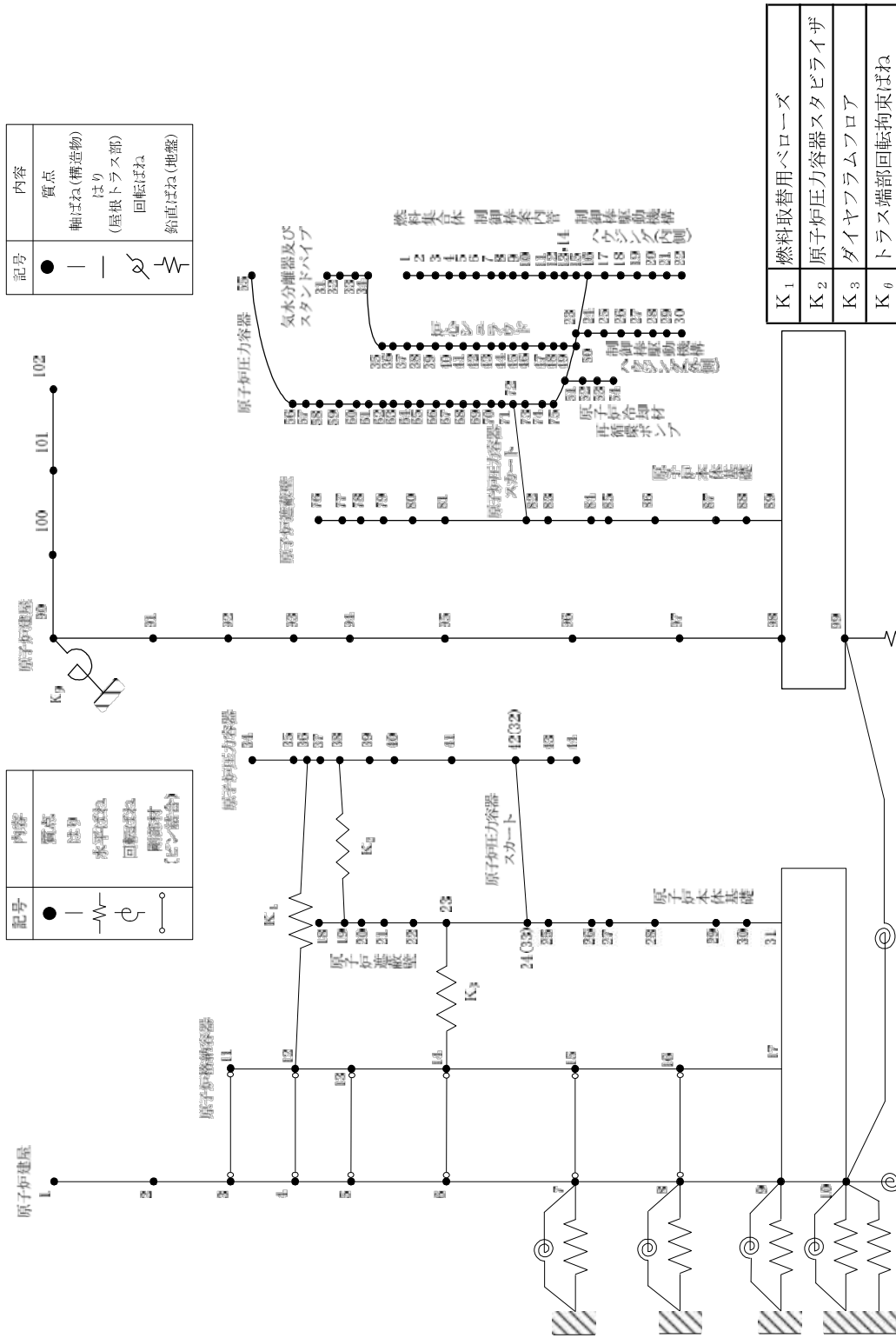


図 3-3 原子炉压力容器, 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎地震応答解析モデル  
(NS 方向 誘発上下動を考慮する場合)

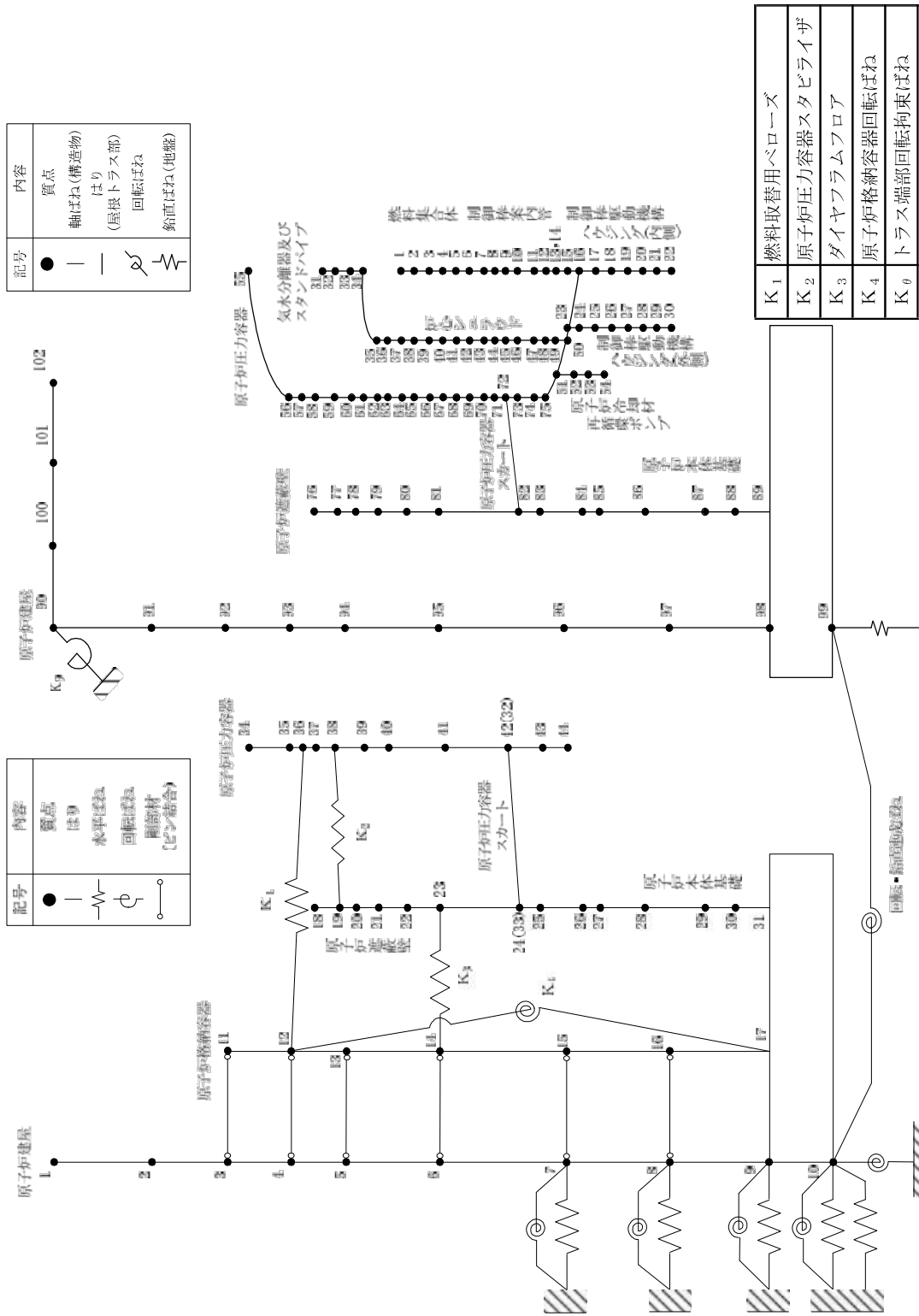


図3-4 原子炉压力容器, 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎地震応答解析モデル (EW方向 誘発上下動を考慮する場合)

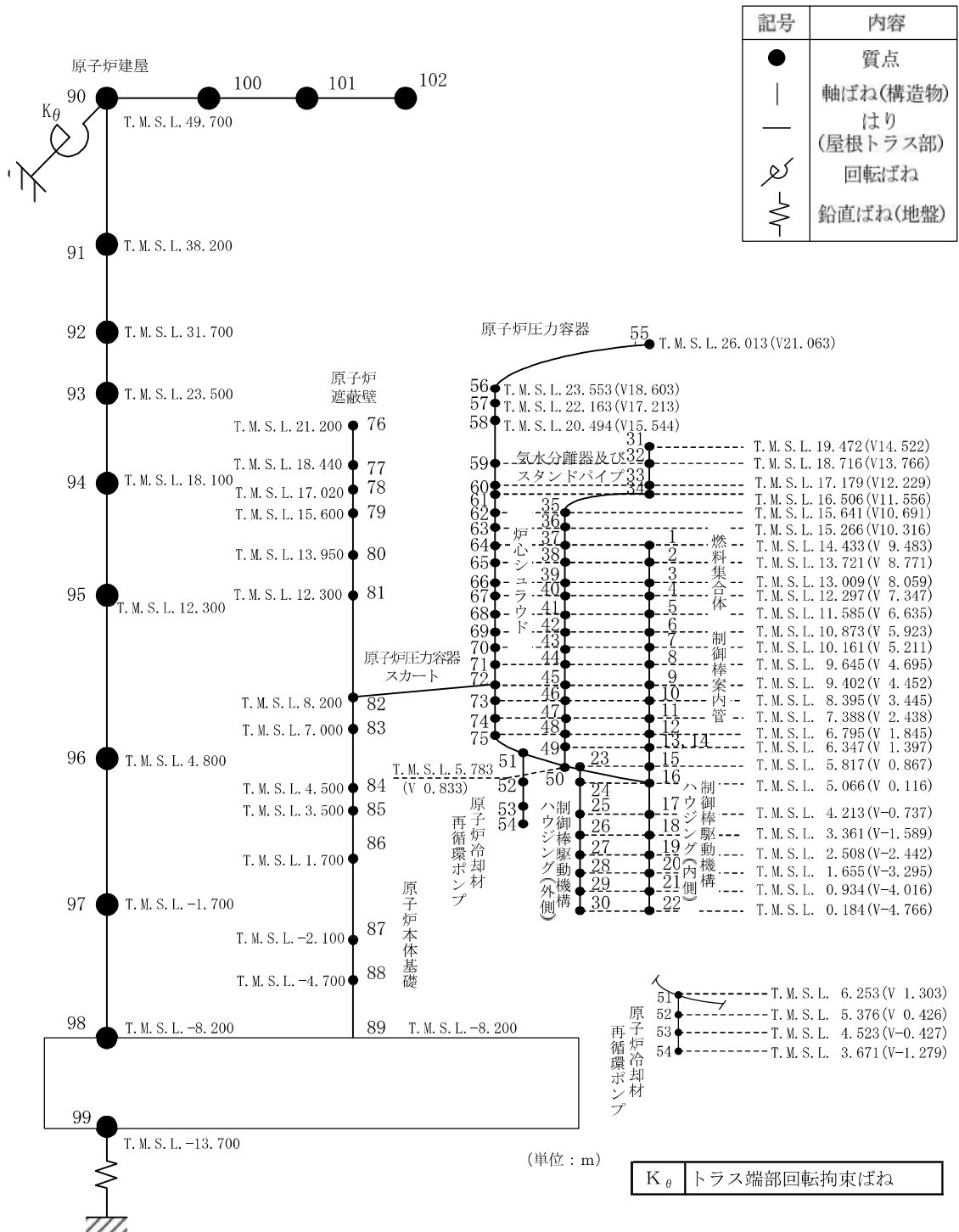


図 3-5 原子炉圧力容器, 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎地震応答解析モデル (鉛直方向)



表 3-3 原子炉建屋及び原子炉格納容器のデータ諸元 (NS 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 (t)	部材長 (m)	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	有効せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	回転慣性 (×10 <sup>4</sup> t・m <sup>2</sup> )	
1	49.700		11.500	13700	41.0	72	
2	38.200		6.500	51100	83.0	419	
3	31.700		8.200	70600	188.0	483	
4	23.500		5.400	69000	132.5	299	
5	18.100		5.800	84700	149.4	202	
6	12.300		7.500	105000	180.5	295	
7	4.800		6.500	112800	183.2	302	
8	-1.700		6.500	119000	223.5	304	
9	-8.200		5.500	900600	3373.4	964	
10	-13.700		8.200	7200	119.6	593	
11	31.700		5.400	23300	113.0	33	
12	23.500		5.800	23500	137.6	379	
13	18.100		7.500	23400	139.2	311	
14	12.300		6.500	23600	132.4	417	
15	4.800		6.500	29600	186.4	395	
16	-1.700					132.4	377
17	-8.200					186.4	—

K7 ① V-2-2-4 R0

表 3-4 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎のデータ諸元 (NS 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 (t)	部材長 (m)	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	有効せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )
18	21.200		2.760		
19	18.440		1.420		
20	17.020		1.420		
21	15.600		1.650		
22	13.950		1.650		
23	12.300		4.100		
24	8.200		1.200		
25	7.000		2.500		
26	4.500		1.000		
27	3.500		1.800		
28	1.700		3.800		
29	-2.100		2.600		
30	-4.700		3.500		
31	-8.200				

K7 ① V-2-2-4 R0

表 3-5 原子炉圧力容器のデータ諸元 (NS 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 (t)	部材長 (m)	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	有効せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )
32	9.402		1.202		
33	8.200				
34	26.013		2.460		
35	23.553		1.390		
36	22.163		1.669		
37	20.494		1.778		
38	18.716		2.153		
39	16.563		1.301		
40	15.262		2.930		
41	12.332		2.930		
42	9.402		2.498		
43	6.904				
44	4.950		1.954		

K7 ① V-2-2-4 R0

表 3-6 原子炉建屋及び原子炉格納容器のデータ諸元 (EW 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 (t)	部材長 (m)	断面二次 モーメント ( $m^4$ )	有効せん断 断面積 ( $m^2$ )	回転慣性 ( $\times 10^4 t \cdot m^2$ )
1	49.700		11.500	30000	54.7	150
2	38.200		6.500	62600	122.9	306
3	31.700		8.200	87900	172.7	305
4	23.500		5.400	81900	131.8	281
5	18.100		5.800	92800	166.7	215
6	12.300		7.500	114600	179.3	327
7	4.800		6.500	124000	211.5	323
8	-1.700		6.500	131000	259.5	331
9	-8.200		5.500	998600	3373.4	1060
10	-13.700		8.200	6700	219.0	657
11	31.700		5.400	23300	222.8	273
12	23.500		5.800	23100	207.4	484
13	18.100		7.500	23400	152.1	347
14	12.300		6.500	21200	180.1	462
15	4.800		6.500	23800	164.4	441
16	-1.700					418
17	-8.200					—

K7 ① V-2-2-4 R0

表 3-7 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎のデータ諸元 (EW 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 (t)	部材長 (m)	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	有効せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )
18	21.200		2.760		
19	18.440		1.420		
20	17.020		1.420		
21	15.600		1.650		
22	13.950		1.650		
23	12.300		4.100		
24	8.200		1.200		
25	7.000		2.500		
26	4.500		1.000		
27	3.500		1.800		
28	1.700		3.800		
29	-2.100		2.600		
30	-4.700		3.500		
31	-8.200				

K7 ① V-2-2-4 R0

表 3-8 原子炉圧力容器のデータ諸元 (EW 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 (t)	部材長 (m)	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	有効せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )
32	9.402		1.202		
33	8.200				
34	26.013		2.460		
35	23.553		1.390		
36	22.163		1.669		
37	20.494		1.778		
38	18.716		2.153		
39	16.563		1.301		
40	15.262		2.930		
41	12.332		2.930		
42	9.402		2.498		
43	6.904		1.954		
44	4.950				

K7 ① V-2-2-4 R0

表 3-9 大型機器系ばね定数

No.	名称	ばね定数	減衰定数 (%)
K <sub>1</sub>	燃料取替用ベローズ		1.0
K <sub>2</sub>	原子炉圧力容器スタビライザ		2.0
K <sub>3</sub>	ダイヤフラムフロア		5.0
K <sub>4</sub>	原子炉格納容器回転ばね		5.0

表 3-10 解析に用いる原子炉建屋の物性値

名称	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 $\nu$	減衰定数 (%)
原子炉建屋 (建屋, 原子炉格納容器)	$2.88 \times 10^4$	0.20	5.0
原子炉建屋 (基礎スラブ)	$2.79 \times 10^4$	0.20	5.0

表 3-11 解析に用いる大型機器系の物性値

名称	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 $\nu$	減衰定数 (%)	
原子炉遮蔽壁		0.30	5.0	
原子炉本体基礎		0.30	5.0	
原子炉圧力容器		質点 34~39*	0.30	1.0
		質点 39~44*	0.30	1.0
原子炉圧力容器スカート		0.30	1.0	

注記\* : 図 3-1~図 3-4 に対応。

### 3.3 解析方法

「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて、電子計算機により、剛性マトリックス、質量マトリックスを作り、固有振動数、固有モードマトリックス等を求める。次に、入力地震動に対する各質点の加速度、変位、せん断力及び軸力等を直接積分法による時刻歴応答解析により時間の関数として求め、地震継続時間中のこれらの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「D Y N A 2 E」を使用し、時刻歴応答解析を実施する。

なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.3.1 動的解析

大型機器系の地震応答計算書の動的解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、直接積分法による時刻歴応答解析により実施する。時刻歴応答解析の解析計算刻みは、水平方向、鉛直方向ともに0.001sに設定した。

#### 3.3.2 静的解析

##### (1) 水平地震力

水平地震力算定用の基準面は地表面（T.M.S.L.12.000m）とし、基準面より上の部分（地上部分）の地震力は、地震層せん断力係数を用いた次式にて算定する。

なお、機器・配管系については20%増しで算定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

- $Q_i$  : 第 i 層に生じる水平地震力
- $n$  : 施設の重要度分類に応じた係数
- $C_i$  : 第 i 層の地震層せん断力係数
- $W_i$  : 第 i 層が支える重量
- $Z$  : 地震地域係数 (1.0)
- $R_t$  : 振動特性係数 (0.8)
- $A_i$  : 第 i 層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- $C_0$  : 標準せん断力係数 (0.2)



基準面より下の部分（地下部分）の地震力は、当該部分の重量に、次式によって算定する地下震度を乗じて定める。

なお、機器・配管系については20%増しで算定する。

$$K = 0.1 \cdot n \cdot (1 - H/40) \cdot Z \cdot \alpha$$

ここで、

K : 地下部分の水平震度

n : 施設の重要度分類に応じた係数

H : 地下の各部分の基準面からの深さ

Z : 地震地域係数 (1.0)

$\alpha$  : 建物・構築物側方地盤の影響を考慮した水平地下震度の補正係数

(1.2)

原子炉建屋及び原子炉格納容器の各層に生じる水平地震力は、表 3-12 に示す平成 3 年 8 月 23 日付け 3 資庁第 6675 号にて認可された工事計画書のIV-2-3「原子炉建屋の地震応答計算書」にて算出した値を用いる。

表 3-12 層せん断力係数(3.0Ci)及び地下部分の水平震度(K)

標高 T. M. S. L. (m)	層せん断力係数・水平震度		備考
	NS 方向	EW 方向	
49.7	0.76	0.72	層せん断力係数
38.2	0.65	0.64	
31.7	0.58	0.57	
23.5	0.51	0.51	
18.1	0.48	0.48	
12.3	0.36	0.36	水平震度
4.8	0.30	0.30	
-1.7	0.24	0.24	
-8.2	0.18	0.18	

(2) 鉛直地震力

鉛直地震力は、鉛直震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して、次式によって算定する鉛直震度を用いて定める。

なお、機器・配管系については 20%増しで算定する。

$$C_v = R_v \cdot 0.3$$

ここで、

$C_v$  : 鉛直震度

$R_v$  : 鉛直方向振動特性係数 (0.8)

鉛直地震力は、上記の平成 3 年 8 月 23 日付け 3 資庁第 6675 号にて認可された工事計画書の IV-2-3 「原子炉建屋の地震応答計算書」にて算出した値を用いる。

### 3.4 解析条件

#### 3.4.1 耐震壁の復元力特性

耐震壁の復元力特性については、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。

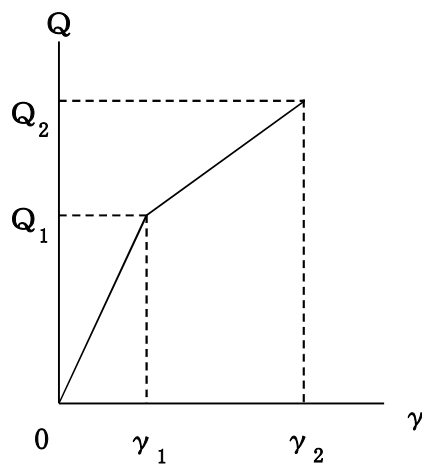
#### 3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねの復元力特性については、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。

#### 3.4.3 原子炉本体基礎の復元力特性

##### (1) 原子炉本体基礎のせん断力-せん断ひずみ関係 ( $Q-\gamma$ 関係)

原子炉本体基礎のせん断力-せん断ひずみ関係 ( $Q-\gamma$  関係) は、コンクリートのひび割れを表す第 1 折点と鋼板の降伏を表す第 2 折点までを設定する。原子炉本体基礎のせん断力-せん断ひずみ関係を図 3-6 に示す。



$Q_1$  : 第 1 折点のせん断力

$Q_2$  : 第 2 折点のせん断力

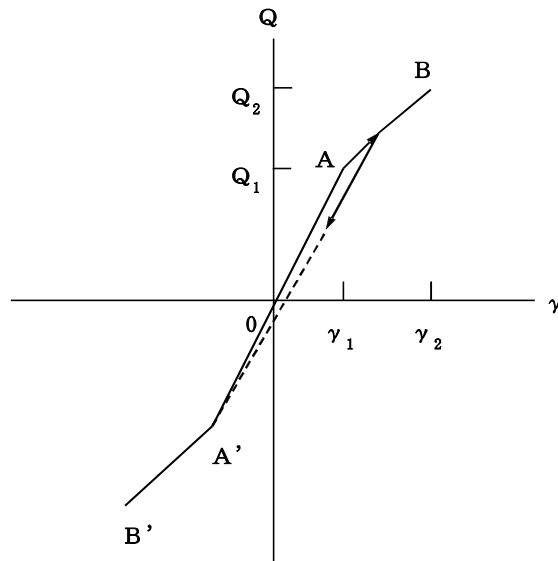
$\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ

$\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ

図 3-6 原子炉本体基礎のせん断力-せん断ひずみ関係

## (2) 原子炉本体基礎のせん断力－せん断ひずみ関係の履歴特性

原子炉本体基礎のせん断力－せん断ひずみ関係の履歴特性は、最大点指向型モデルとする。原子炉本体基礎のせん断力－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-7 に示す。

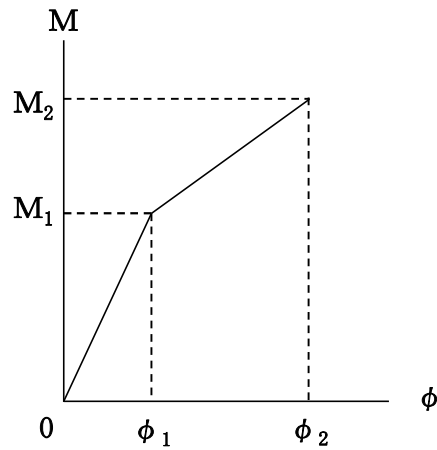


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていなければ、負側第 1 折点に向かう。
- c. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- d. 安定ループは面積を持たない。

図 3-7 原子炉本体基礎のせん断力－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係)

原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係) は, コンクリートのひび割れを表す第 1 折点と鋼板の降伏を表す第 2 折点までを設定する。原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係を図 3-8 に示す。



$M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント

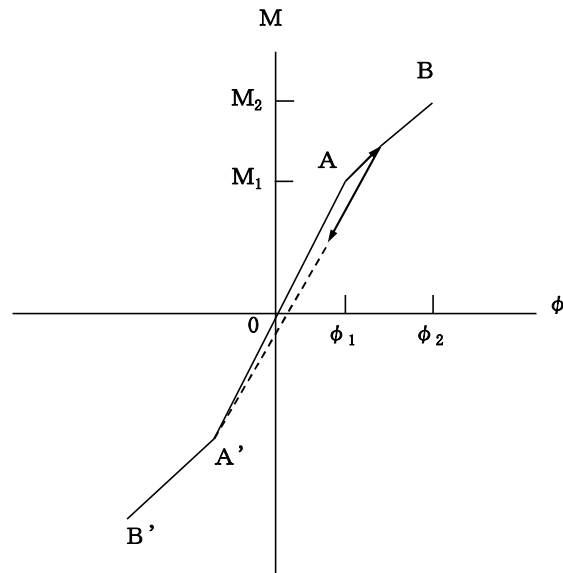
$\phi_1$  : 第 1 折点の曲率

$\phi_2$  : 第 2 折点の曲率

図 3-8 原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係

## (4) 原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、最大点指向型モデルとする。原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-9 に示す。



- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を超えていなければ、負側第 1 折点に向かう。
- c. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- d. 安定ループは面積を持たない。

図 3-9 原子炉本体基礎の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

原子炉本体基礎の各要素について算定したせん断力及び曲げモーメントのスケルトン曲線の諸数値を表 3-13～表 3-16 に示す。

表 3-13 せん断力のスケルトン曲線 (Q- $\gamma$  関係) (NS 方向)

質点 番号	要素 番号	$Q_1$ ( $\times 10^3$ kN)	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-5}$ rad)	$Q_2$ ( $\times 10^3$ kN)	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-5}$ rad)
23	21	74.8	16.6	814	325
24	22	112	17.1	1090	325
25	23	73.6	18.2	745	326
26	24	55.4	19.5	474	331
27	25	36.4	9.30	394	333
28	26	29.6	9.60	330	333
29	27	37.2	9.60	389	333
30	28	37.2	9.70	379	333

表 3-14 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M- $\phi$  関係) (NS 方向)

質点 番号	要素 番号	$M_1$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-6}$ 1/m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-6}$ 1/m)
23	21	0.298	7.28	5.57	263
24	22	0.388	7.90	6.42	263
25	23	0.353	9.52	4.39	262
26	24	0.299	11.4	3.43	269
27	25	0.154	4.31	3.63	249
28	26	0.186	5.21	3.63	249
29	27	0.180	5.10	3.34	248
30	28	0.192	5.49	3.36	249

表 3-15 せん断力のスケルトン曲線 (Q- $\gamma$  関係) (EW 方向)

質点 番号	要素 番号	$Q_1$ ( $\times 10^3$ kN)	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-5}$ rad)	$Q_2$ ( $\times 10^3$ kN)	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-5}$ rad)
23	21	73.5	16.6	804	324
24	22	112	17.1	1090	325
25					
26	23	73.2	18.2	737	325
27	24	55.4	19.5	474	331
28	25	36.4	9.30	394	333
29	26	37.6	9.60	394	333
30	27	37.2	9.60	389	333
31	28	37.2	9.70	379	333

表 3-16 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M- $\phi$  関係) (EW 方向)

質点 番号	要素 番号	$M_1$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-6}$ 1/m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-6}$ 1/m)
23	21	0.300	7.28	5.64	263
24	22	0.388	7.90	6.42	263
25					
26	23	0.354	9.52	4.42	262
27	24	0.299	11.4	3.43	269
28	25	0.154	4.31	3.63	249
29	26	0.143	5.21	2.66	249
30	27	0.180	5.10	3.34	248
31	28	0.192	5.49	3.36	249



#### 3.4.4 誘発上下動を考慮する場合の基礎浮上り評価法

誘発上下動を考慮する場合の基礎浮上り評価については、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。

#### 3.4.5 材料物性の不確かさ等

解析においては、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」にて考慮する材料物性の不確かさに加えて、以下の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさ等を考慮する解析ケースを表3-17に示す。

##### (1) 原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアのコンクリート剛性（ケース7）

原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアのコンクリート強度には、既工認と同様に設計基準強度を用いることを基本としているが、原子炉建屋等と同等の検討として実強度相当を考慮する。

##### (2) 手法特有の配慮（ケース8）

原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定は折線近似を基本としているが、現実には上に凸な曲線になると考えられることから、各要素、各方向（NS, EW方向）の曲げモーメントのスケルトン曲線について、曲線近似を包絡するように、基本ケースの折線近似のスケルトン曲線の第二勾配の領域を一律同じ値だけ嵩上げた曲線近似包絡のスケルトン曲線を考慮する。

表 3-17 大型機器系の材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート剛性			回転 ばね 定数	地盤剛性	原子炉本体基礎 のスケルトン 曲線の設定方法	備考
	原子炉建屋	原子炉本体 基礎	ダイヤフラム フロア				
① ケース 1 (工認モデル)	実強度 43.1N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 29.4N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 32.3N/mm <sup>2</sup>	100%	標準地盤	折線近似	基本ケース
② ケース 2 (建屋剛性 + $\sigma$ , 地盤剛性 + $\sigma$ )	実強度 + $\sigma$ 46.0N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 29.4N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 32.3N/mm <sup>2</sup>	100%	標準地盤 + $\sigma$ (砂層 +13%, 小安田層 +25%, 西山層 +10%)	折線近似	地盤剛性の変化 に伴い, 回転ば ね定数が変化
③ ケース 3 (建屋剛性 - $\sigma$ , 地盤剛性 - $\sigma$ )	実強度 - $\sigma$ 40.2N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 29.4N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 32.3N/mm <sup>2</sup>	100%	標準地盤 - $\sigma$ (砂層 -13%, 小安田層 -25%, 西山層 -10%)	折線近似	地盤剛性の変化 に伴い, 回転ば ね定数が変化
④ ケース 4 (建屋剛性 コア平均)	実強度 (コア平均) 55.7N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 29.4N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 32.3N/mm <sup>2</sup>	100%	標準地盤	折線近似	
⑤ ケース 5 (建屋剛性 - 2 $\sigma$ )	実強度 - 2 $\sigma$ 37.2N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 29.4N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 32.3N/mm <sup>2</sup>	100%	標準地盤	折線近似	
⑥ ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 43.1N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 29.4N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 32.3N/mm <sup>2</sup>	50%	標準地盤	折線近似	
⑦ ケース 7 (原子炉本体基礎 ダイ ヤフラムフロア 実強度)	実強度 43.1N/mm <sup>2</sup>	実強度 39.2N/mm <sup>2</sup>	実強度 43.1N/mm <sup>2</sup>	100%	標準地盤	折線近似	建屋一機器 連成解桁固有 のケース
⑧ ケース 8 (原子炉本体基礎 スケ ルトン曲線 曲線包絡)	実強度 43.1N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 29.4N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 32.3N/mm <sup>2</sup>	100%	標準地盤	折線近似 (曲線近似を 包絡)	建屋一機器 連成解桁固有 のケース

#### 4. 解析結果

本章では、代表として、弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  の基本ケースの地震応答解析結果を示す。ここでは、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の接地率を踏まえて、 $S_s$ -2, EW 方向について誘発上下動を考慮している。

##### 4.1 固有値解析

各地震動による地震応答解析より得られた固有周期の中で、固有周期 0.050s 以上の次数についてまとめた結果を表 4-1～表 4-32（弾性設計用地震動  $S_d$ ：表 4-1～表 4-16，基準地震動  $S_s$ ：表 4-17～表 4-32）に示す。また、各地震動の刺激関数モードを図 4-1～図 4-224（弾性設計用地震動  $S_d$ ：図 4-1～図 4-112，基準地震動  $S_s$ ：図 4-113～図 4-224）に示す。なお、刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示している。

鉛直方向の固有値及び刺激関数モード図は、V-2-3-1「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」に示す。

##### 4.2 地震応答解析及び静的解析

###### (1) 弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的震度

水平方向の弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析及び静的解析より得られた各点の最大応答加速度，最大応答変位，最大応答せん断力及び最大応答モーメントを図 4-225～図 4-248 に，算定したスケルトン曲線と最大応答値の関係を図 4-249～図 4-252 に，原子炉圧力容器スタビライザ及びダイヤフラムフロアに加わる力（ばね反力）を表 4-33 に示す。

鉛直方向の弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析より得られた各点の最大応答加速度，最大応答変位及び最大応答軸力を図 4-253～図 4-261 に示す。なお，鉛直方向の静的解析は実施せず，「3.3.2 静的解析」において算定した静的震度を一律に適用する。

###### (2) 基準地震動 $S_s$

水平方向の基準地震動  $S_s$  による地震応答解析より得られた各点の最大応答加速度，最大応答変位，最大応答せん断力及び最大応答モーメントを図 4-262～図 4-285 に，算定したスケルトン曲線と最大応答値の関係を図 4-286～図 4-289 に，原子炉圧力容器スタビライザ及びダイヤフラムフロアに加わる力（ばね反力）を表 4-34 に示す。

鉛直方向の基準地震動  $S_s$  による地震応答解析より得られた各点の最大応答加速度，最大応答変位及び最大応答軸力を図 4-290～図 4-298 に示す。

## 5. 設計用地震力

本項では、V-2「耐震性に関する説明書」における各施設の耐震計算書への適用に際し、設定した設計用地震力及び静的地震力を示す。

設計用地震力の作成における配慮方法を以下に示す。なお、静的地震力は、前項の静的解析から得られた地震力以上となるように作成する。

- (1) 前項の地震応答解析から得られた地震力に対し、材料物性の不確かさ等や地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜に対する影響を考慮して作成した地震力（以下、「設計用地震力Ⅰ」という。）
- (2) 設計用地震力Ⅰ以上となるように作成した地震力（以下、「設計用地震力Ⅱ」という。）

### 5.1 弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的震度

弾性設計用地震動  $S_d$  に基づく設計用地震力Ⅰ，設計用地震力Ⅱ及び静的地震力のうち、せん断力，モーメント及び軸力を表 5-1～表 5-3 に，原子炉压力容器スタビライザ，ダイヤフラムフロアに加わる力（ばね反力）を表 5-4 に示す。

なお，設計用床応答曲線，設計用最大応答加速度及び静的震度については，V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す。

### 5.2 基準地震動 $S_s$

基準地震動  $S_s$  に基づく設計用地震力Ⅰ及び設計用地震力Ⅱのうち，せん断力，モーメント及び軸力を表 5-5～表 5-7 に，原子炉压力容器スタビライザ，ダイヤフラムフロアに加わる力（ばね反力）を表 5-8 に示す。

なお，設計用床応答曲線及び設計用最大応答加速度については，V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す。

表 5-1 設計用地震力及び静的地震力（せん断力， S d）

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)	静的地震力 (kN)
原子炉压力容器	26.013	229	270	197
	23.553	986	1180	922
	22.163			
	20.494	1480	1760	1580
	18.716	2700	3330	2860
	16.563	2160	2750	2520
	15.262	3340	4220	3770
	12.332	4430	5580	4990
	9.402	6560	8290	7750
	6.904	2270	2970	3430
	4.950	1050	1340	1600
原子炉压力容器 スカート	9.402	10100	13200	13200
	8.200			
原子炉遮蔽壁	21.200	540	663	461
	18.440	4180	5070	4380
	17.020			
	15.600	4760	5790	4910
	13.950	7010	8580	7180
	12.300	7580	9310	7840
	8.200	13600	16800	15300
原子炉本体基礎	8.200	18200	23600	30500
	7.000	19500	25400	32600
	4.500	20400	26700	34200
	3.500	21000	27600	35200
	1.700	22400	29400	37700
	-2.100	23900	31500	40100
	-4.700	25300	33300	42500
	-8.200			

K7 ① V-2-2-4 R0

表 5-2 設計用地震力及び静的地震力（モーメント， S d）

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN・m)	設計用地震力 II (kN・m)	静的地震力 (kN・m)
原子炉压力容器	26.013	0	0	0
	23.553	563	662	491
	22.163	1940	2290	1770
	20.494	4140	5070	4410
	18.716	8920	11000	9480
	16.563	13600	16900	14900
	15.262	17900	22400	19800
	12.332	30900	38800	34400
	9.402	50100	63000	57100
	6.904	2040	2600	3130
4.950	0	0	0	
原子炉压力容器 スカート	9.402	43000	53000	45500
	8.200	55000	68700	61200
原子炉遮蔽壁	21.200	0	0	0
	18.440	1490	1840	1270
	17.020	7420	9030	7480
	15.600	14200	17300	14500
	13.950	25800	31500	26300
	12.300	38300	46800	39300
原子炉本体基礎	8.200	107000	138000	156000
	7.000	127000	164000	193000
	4.500	173000	221000	274000
	3.500	192000	247000	308000
	1.700	227000	296000	372000
	-2.100	309000	406000	515000
	-4.700	370000	487000	619000
	-8.200	456000	602000	769000

K7 ① V-2-2-4 R0

表 5-3 設計用地震力（軸力，S d）（1/2）

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)
原子炉压力容器	26.013	93.4	127
	23.553	435	589
	22.163	797	1080
	20.494	1510	2050
	18.716	1780	2410
	17.179	1940	2620
	16.506	2150	2920
	15.641	2250	3050
	15.266	2380	3230
	14.433	2490	3370
	13.721	2590	3500
	13.009	2690	3630
	12.297	2790	3760
	11.585	2890	3900
	10.873	2980	4030
	10.161	3070	4150
	9.645	3130	4230
	9.402	5350	7350
	8.395	5210	7170
	7.388	5100	7010
6.795	4520	6240	
6.253	4080	5630	
5.783	4080	5630	
5.817	2230	3100	
5.066			
原子炉压力容器 スカート	9.402	8640	11800
	8.200		

K7 ① V-2-2-4 R0

表 5-3 設計用地震力（軸力，S d）（2/2）

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)
原子炉遮蔽壁	21.200	306	431
	18.440		
	17.020	1720	2420
	15.600	2100	2940
	13.950	3700	5170
	12.300	4160	5800
原子炉本体基礎	8.200	9880	13600
	7.000	20700	28300
	4.500	22300	30300
	3.500	23600	32200
	1.700	24400	33200
	-2.100	26400	35700
	-4.700	28400	38100
	-8.200	30100	40200

表 5-4 設計用地震力及び静的地震力（ばね反力，S d）

名称	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)	静的地震力 (kN)
原子炉圧力容器 スタビライザ	1330	1560	1800
ダイヤフラム フロア	16300	16300	16800



表 5-5 設計用地震力（せん断力， $S_s$ ）

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)
原子炉压力容器	26.013	453	523
	23.553	1970	2270
	22.163	2980	3410
	20.494	5360	6310
	18.716	4150	4880
	16.563	6520	7710
	15.262	8720	10400
	12.332	12900	15800
	9.402	4710	5800
	6.904	2210	2640
	4.950		
原子炉压力容器 スカート	9.402	20000	25000
	8.200		
原子炉遮蔽壁	21.200	1090	1270
	18.440	8520	10100
	17.020	9670	11400
	15.600	14200	16800
	13.950	15300	18200
	12.300	20500	25500
	8.200	35300	41100
原子炉本体基礎	7.000	37600	44100
	4.500	39300	46700
	3.500	40300	48300
	1.700	43000	51800
	-2.100	45400	55700
	-4.700	48000	59300
	-8.200		

K7 ① V-2-2-4 R0

表 5-6 設計用地震力 (モーメント, S s)

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN・m)	設計用地震力 II (kN・m)
原子炉压力容器	26.013	0	0
	23.553	1120	1290
	22.163	3850	4440
	20.494	8490	9770
	18.716	18000	21000
	16.563	27000	31500
	15.262	35000	41400
	12.332	60500	71700
	9.402	98300	118000
	6.904	4310	5170
4.950	0	0	
原子炉压力容器 スカート	9.402	83700	98100
	8.200	108000	128000
原子炉遮蔽壁	21.200	0	0
	18.440	3010	3500
	17.020	15100	17900
	15.600	28900	34000
	13.950	52200	61700
	12.300	77300	91700
原子炉本体基礎	8.200	212000	253000
	7.000	254000	301000
	4.500	347000	410000
	3.500	386000	455000
	1.700	457000	537000
	-2.100	617000	719000
	-4.700	731000	849000
	-8.200	892000	1040000

K7 ① V-2-2-4 R0

表 5-7 設計用地震力（軸力， $S_s$ ）（1/2）

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)
原子炉压力容器	26.013	189	253
	23.553	879	1180
	22.163	1610	2150
	20.494	3040	4060
	18.716	3600	4790
	17.179	3910	5200
	16.506	4350	5780
	15.641	4540	6020
	15.266	4810	6390
	14.433	5030	6670
	13.721	5230	6930
	13.009	5430	7190
	12.297	5630	7450
	11.585	5830	7710
	10.873	6030	7970
	10.161	6200	8210
	9.645	6330	8380
	9.402	10800	14600
	8.395	10600	14200
	7.388	10300	14000
	6.795	9140	12400
	6.253	8240	11200
	5.783	4500	6100
5.817	4500	6100	
5.066	4500	6100	
原子炉压力容器 スカート	9.402	17500	23400
	8.200		

K7 ① V-2-2-4 R0

表 5-7 設計用地震力（軸力，S s）（2/2）

名称	標高 T. M. S. L. (m)	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)
原子炉遮蔽壁	21.200	623	851
	18.440		
	17.020	3500	4780
	15.600	4260	5820
	13.950	7520	10200
	12.300	8450	11500
原子炉本体基礎	8.200	20100	26800
	7.000	41900	55900
	4.500	45200	60100
	3.500	47800	63500
	1.700	49500	65600
	-2.100	53500	70600
	-4.700	57500	75400
	-8.200	61100	79700

表 5-8 設計用地震力（ばね反力，S s）

名称	設計用地震力 I (kN)	設計用地震力 II (kN)
原子炉圧力容器 スタビライザ	2810	3280
ダイヤフラム フロア	37500	40300

計算機プログラム（解析コード）の概要

別紙 7 D Y N A 2 E

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-4	原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 7. 2. 48
V-2-2-9	コントロール建屋の地震応答計算書	Ver. 7. 2. 18
V-2-3-2	炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書	Ver. 7. 2. 48

2. 解析コードの概要

2.1 D Y N A 2 E Ver. 7. 2. 48

項目 \ コード名	D Y N A 2 E
使用目的	固有値解析, 応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972年 (センチュリリサーチセンタ株式会社) 2007年 (伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)
使用したバージョン	Ver. 7. 2. 48
コードの概要	<p>本解析コードは, 土木・建築分野における骨組構造*を対象として開発された2次元/3次元応答解析コードであり, 市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値解析並びに静的解析(線形)及び動的解析(線形, 非線形)による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し, 3種類の解析を行うことができる。</p> <p style="margin-left: 2em;">&lt; 構 造 &gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2次元骨組構造</li> <li>2. 3次元骨組構造</li> </ol> <p style="margin-left: 2em;">&lt; 解 析 &gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 固有値解析</li> <li>2. 静的解析(線形)</li> <li>3. 動的解析(線形, 非線形)</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一本棒の曲げせん断型モデルについて, 本解析コード及び別解析コードMSC NASTRAN Ver. 2008r1を用いて得られた固有値解析結果及び応答解析結果を比較して検討し, 本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証内容のとおり, 固有値解析及び応答解析について検</li> </ul>

	<p>証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所工事計画認可申請書のV-2-3-2「炉心，原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において，固有値解析及び応答解析に使用された実績がある。</li> <li>・誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析については，「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 - 2008（（社）日本電気協会）」を参考に，水平加振により励起される上下応答を評価するために，基礎浮き上がりの評価法，鉛直モデルの諸元及び接地率に応じて変化する回転・鉛直連成ばねについて考慮している。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する固有値解析及び応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	---

注記\*：本解析コードでは，主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。